

10/510324
PCT/JP03/03761

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

26.03.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 4月 4日

出願番号

Application Number:

特願 2002-102225

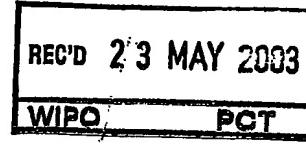
[ST.10/C]:

[JP 2002-102225]

出願人

Applicant(s):

シャープ株式会社

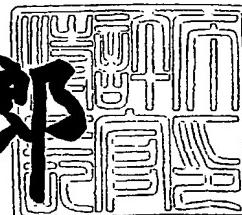


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 5月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



BEST AVAILABLE COPY 出証番号 出証特 2003-3033830

【書類名】 特許願
 【整理番号】 02J00778
 【提出日】 平成14年 4月 4日
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 H01L 33/00
 【発明者】
 　【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内
 　【氏名】 種谷 元隆
 【発明者】
 　【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内
 　【氏名】 山崎 幸生
 【特許出願人】
 　【識別番号】 000005049
 　【氏名又は名称】 シャープ株式会社
 　【電話番号】 06-6621-1221
 【代理人】
 　【識別番号】 100103296
 【弁理士】
 　【氏名又は名称】 小池 隆彌
 　【電話番号】 06-6621-1221
 　【連絡先】 電話 043-299-8466 知的財産権本部 東京
 　知的財産権部
 【選任した代理人】
 　【識別番号】 100073667
 【弁理士】
 　【氏名又は名称】 木下 雅晴

2002-102225

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012313

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703283

【包括委任状番号】 9703284

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光に対して透明な屈折率が n_s の基板の上に、屈折率が n_{c1} の第1クラッド層、屈折率が n_{c2} の第2クラッド層、屈折率が n_{c3} の第3クラッド層、屈折率が n_g の第1導電型ガイド層、量子井戸活性層、第2導電型ガイド層、第2導電型クラッド層、第2導電型コンタクト層を、この順に含む積層体により構成された導波路構造を有する窒化物系半導体からなる半導体レーザ素子であつて、

前記導波路の等価屈折率を n_{eff} とした場合、 $n_{c2} < n_{c1}$ 、 $n_{c3} < n_{eff} < n_s$ 、 n_g であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記第1クラッド層の厚さを d_{c1} 、前記第2クラッド層の厚さを d_{c2} 、前記第3クラッド層の厚さを d_{c3} としたとき、 $d_{c2} < d_{c3} < d_{c1}$ であり、かつ $1.4 \mu m \leq d_{c1} + d_{c2} + d_{c3} \leq 4.5 \mu m$ であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記第2クラッド層はAlを含むIII-V族半導体から形成されており、前記量子井戸活性層はInを含むIII-V族半導体から形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記基板および前記積層体が窒化物半導体からなり、前記第1クラッド層、前記第2クラッド層、前記第3クラッド層のいずれもがAlを含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記第1クラッド層の厚さを d_{c1} 、前記第2クラッド層の厚さを d_{c2} 、前記第3クラッド層の厚さを d_{c3} としたとき、 $d_{c2} < d_{c3} < d_{c1}$ であり、かつ $1.4 \mu m \leq d_{c1} + d_{c2} + d_{c3} \leq 4.5 \mu m$ であることを特徴とする請求項4に記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 前記第2クラッド層に含まれる全III族元素中のAlの組成比 x_{c2} が $0.06 \leq x_{c2} \leq 0.3$ である窒化物半導体からなり、前記第2クラッド層の厚み d_{c2} が、 $0.05 \mu m \leq d_{c2} \leq 0.35 \mu m$ であることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】 前記第1クラッド層に含まれる全III族元素中のAlの組成比 x_{c1} が $x_{c1} \leq 0.07$ 、かつ、前記第3クラッド層に含まれる全III族元素中のAlの組成比 x_{c3} が $x_{c3} \leq 0.07$ であることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザに関し、特に、基板の屈折率が半導体レーザの垂直横モードを考慮する際の等価屈折率よりも大きい半導体レーザに関するものである。例えば、窒化物半導体 ($In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$) よりなる半導体レーザ素子に関し、中でも、GaN基板上に形成されるレーザ構造において、安定な垂直横モードとクラッド層に生ずるクラック防止を両立させてなる窒化物半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、窒化物半導体からなる青色発光ダイオードが実用化され、更に青色レーザダイオードの実用も可能になっている。GaN基板上に従来技術により作製した窒化物半導体レーザ素子の構造図を図8に示す。本従来素子は、GaN基板801上に、厚さ4μmのn型GaNコンタクト層802、n型 $In_{0.08}Ga_{0.92}N$ クラック防止層803、厚さ1.2μmのn型AlGaNクラッド層804 ($Al_{0.14}Ga_{0.86}N$ とGaNの超格子構造からなり、平均の混晶比が $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$)、厚さ0.075μmのn型GaNガイド層805、量子井戸活性層806 ($In_{0.11}Ga_{0.89}N$ 井戸層と $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ 障壁層を3対の構成)、p型 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 電子閉じ込め層807、厚さ0.075μmのp型GaNガイド層808、厚さ0.5μmのAlGaNクラッド層809 ($Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ とGaNの超格子構造からなり、平均の混晶比が $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$)、厚さ15nmのp型GaNコンタクト層810を配してなるものである。811はp型電極、812はn型電極である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

図9に当該従来例素子の積層面に対して垂直方向の遠視野像（FFP）を示す。当該従来例素子のように、半導体レーザの積層面に対して垂直方向の横モードの等価屈折率よりも、基板材料の屈折率が大きい場合には、図9に示すように、基板にまで達したレーザ光が基板方向へ放射されるため、レーザ光のFFPには基本モードの出射方向から基板側に十数度ずれた方向にピークを有する放射光が生じ、光ディスクなどの応用において問題となる。また、このような放射光は導波路の放射損失となるため、半導体レーザの閾値電流が上昇すると共に、発振時の微分量子効率が低下するという問題がある。

【0004】

また、図8に示したように、GaN基板801とn型AlGaNクラッド層804との間にn型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nコンタクト層802を4μmと厚く形成した場合には、GaN基板801への放射モードは抑制される方向はあるが、この場合はn型AlGaNクラッド層804の厚さを0.8μmと比較的厚く形成する必要があり、結晶中のクラックが完全には抑制できず、リーク電流の発生や、閾値電流の上昇、信頼性の低下など、素子の作製歩留まりを低下させる結果となる。

【0005】

そこで、本発明の目的は、GaN基板上に成長させる半導体レーザ構造のように、垂直モードの等価屈折率よりも基板の屈折率が大きい半導体レーザにおいて、効果的に放射モードを抑制する構造を提供することであり、特に、窒化物系半導体レーザにおいては、Alの組成の比較的大きなn型クラッド層の厚みを最小限にすることによりクラック発生による素子の作製歩留まり低下を防止すると共に、放射モードを低減する構造を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明の半導体レーザ素子は、レーザ光に対して透明な屈折率がn_sの基板の上に、屈折率がn_{c1}の第1クラッド層、屈折率がn_{c2}の第2クラッド層、屈折率がn_{c3}の第3クラッド層、屈折率がn_gの第1導電型ガイド層、量子井戸活性層

、第2導電型ガイド層、第2導電型クラッド層、第2導電型コンタクト層を、この順に含む積層体により構成された導波路構造を有する窒化物系半導体からなる半導体レーザ素子であって、前記導波路の等価屈折率を n_{eff} とした場合、 $n_{c2} < n_{c1}$, $n_{c3} < n_{eff} < n_s$, n_g であることを特徴とする。

【0007】

本発明の半導体レーザ素子は、前記第1クラッド層の厚さを d_{c1} 、前記第2クラッド層の厚さを d_{c2} 、前記第3クラッド層の厚さを d_{c3} 、としたとき、 $d_{c2}, d_{c3} < d_{c1}$ であり、かつ1. $4 \mu m \leq d_{c1} + d_{c2} + d_{c3}$ であることを特徴とする。

【0008】

本発明の半導体レーザ素子は、前記第2クラッド層はA1を含むIII-V族半導体から形成されており、前記量子井戸活性層はInを含むIII-V族半導体から形成されていることを特徴とする。

【0009】

本発明の半導体レーザ素子は、前記基板および前記積層体が窒化物半導体からなり、前記第1クラッド層、前記第2クラッド層、前記第3クラッド層のいずれもがA1を含むことを特徴とする。

【0010】

本発明の半導体レーザ素子は、前記第1クラッド層の厚さを d_{c1} 、前記第2クラッド層の厚さを d_{c2} 、前記第3クラッド層の厚さを d_{c3} 、としたとき、 $d_{c2}, d_{c3} < d_{c1}$ であり、かつ1. $4 \mu m \leq d_{c1} + d_{c2} + d_{c3} \leq 4.5 \mu m$ であることを特徴とする。

【0011】

本発明の半導体レーザ素子は、前記第2クラッド層に含まれる全III族元素中のA1の組成比 x_{c2} が $0.06 \leq x_{c2} \leq 0.3$ である窒化物半導体からなり、前記第2クラッド層の厚み d_{c2} が、 $0.05 \mu m \leq d_{c2} \leq 0.35 \mu m$ であることを特徴とする。

【0012】

本発明の半導体レーザ素子は、前記第1クラッド層に含まれる全III族元素

中のA1の組成比 x_{c1} が $x_{c1} \leq 0.07$ 、かつ、前記第3クラッド層に含まれる全III族元素中のA1の組成比 x_{c3} が $x_{c3} \leq 0.07$ であることを特徴とする。

【0013】

つまり、本発明は、導波路領域内における層に垂直な方向の等価屈折率 n_{eff} よりも高い屈折率 n_s を有する基板を用いる場合に、基板と活性層間に間に配するクラッド層を少なくとも3層に分け、これら3層の中で最も屈折率が小さいクラッド層を、それ以外のクラッド層の間に位置する構成とすることで、基板への放射モードを抑制するものである。特に、GaN基板やAlGaN基板などの窒化物系半導体基板を用いた窒化ガリウム系半導体レーザにおいては、A1を含む窒化物半導体層からなるクラッド層におけるクラック防止と基板への放射モード抑制を両立させるものであり、素子の作製歩留まりを飛躍的に向上させることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明をさらに詳細に説明する。本発明における半導体レーザの構成材料系としては、基板が透光性であり、レーザを構成する導波路の等価屈折率よりも基板の屈折率が大きい材料の組み合わせにおいては全て適用が可能であるが、特に、GaNやAlGaNからなる基板上の窒化物半導体レーザ素子、およびGaAs基板上のAlGaInAsP系半導体レーザ素子が、信頼性確保の面から好ましい。

【0015】

具体的に、より好ましい材料系の第1として窒化物半導体により構成される半導体レーザの例を説明する。図1に示すような、窒化物半導体基板101と活性層107の間に、基板側から下地層102、 $Al_{xc1}Ga_{1-xc1}N$ 第1クラッド層103、 $Al_{xc2}Ga_{1-xc2}N$ 第2クラッド層104、 $Al_{xc3}Ga_{1-xc3}N$ 第3クラッド層105、第1導電型ガイド層106、がこの順に含まれる窒化物系半導体レーザ素子が挙げられる。また、これら半導体層の内、少なくとも1層におけるN元素の一部がAsやP、Sbと置換された窒化物半導体からなる半導体レー

ザでも良いが、その場合はN元素の全V族元素に対する組成比が0.9以上であることが、層内で均一な組成を実現し、かつ、良好な結晶性を得るために望ましい。また、これらの第1～第3クラッド層において、Inを組成比で0.01～0.05の範囲内で添加しても良く、この場合は、より低温で結晶成長が可能となることや、結晶自体が柔らかくなり、クラックがより低減される効果がある。

【0016】

基板101は窒化物半導体により構成される。中でも最も望ましい形態としてはGaN基板が挙げられる。GaN基板は、その他の窒化物半導体基板よりも基板の結晶品質が高く、信頼性の良い半導体レーザを得る上で望ましい。特に、GaN基板をn型導電型とした場合は、裏面に電極を形成でき、半導体レーザチップを小型化できるため望ましい。GaN以外の基板材料としては、AlGaNが挙げられるが、基板の割れ防止の観点から、Alの組成比としては0.02以下が望ましい。また、本発明において、基板は、窒化物半導体のみからなるGaN基板以外に、異種基板と窒化物半導体とからなるGaN基板が挙げられる。ここで、異種基板と窒化物半導体とからなるGaN基板の場合、SiO₂等の保護膜を用いて窒化物半導体の横方向の成長を利用し転位の低減される成長方法(ELG成長)が用いられることがあり、この場合には異種基板上の窒化物半導体内にSiO₂等の保護膜が包含されている場合もある。ただし、このような異種基板と窒化物半導体とからなる基板を用いる場合には、レーザの等価屈折率n_{eff}よりも屈折率が高い層の厚さが(この場合は窒化物半導体の厚みが)10μm以上である場合に、上述の課題である、放射モードによる光損失が顕著となるため、本発明を適用する対象となる。

【0017】

図1に示すように、第1クラッド層103と基板101の間には、下地層102を形成する。この下地層102は、n型GaNで構成することができ、この場合、GaN基板101表面の凹凸や傷の改善、結晶欠陥の低減が可能となる点で最も望ましい。また、下地層をn型AlGaNで構成することも可能であり、この場合は、基板101表面の凹凸や傷の緩和が可能である組成を選択することが肝要であり、具体的には下地層102におけるAlの組成比は0.02以下であ

ることが望ましい。なお、下地層102は、形成しなくても本願の効果を得ることが可能であった。

【0018】

第1クラッド層103としては、レーザ導波路の等価屈折率 n_{eff} よりも低い屈折率を有する窒化物半導体で構成される。具体的な構成材料としては、n型 $A_1x_{c1}Ga_{1-x_{c1}}N$ が挙げられる。ここで x_{c1} は、この層の屈折率が n_{eff} よりも低くなるように選ぶことが必要である。すなわち、 n_{eff} と同じ屈折率を有する A_1GaN 材料の A_1 混晶比を x_{neff} とすると、 $x_{neff} < x_{c1}$ とすることが肝要である。また、 $x_{c1} \leq 0.07$ とすることにより、結晶に生ずる微小なクラックを効果的に抑制できるため望ましい。さらに、望ましくは、 $x_{c1} \leq 0.05$ とすることにより、基板101へのレーザ光の放射を抑制しつつ、レーザ光の遠視野像の垂直方向広がり角を 26° 以下に小さくすることが可能となるため、半導体レーザを光学系と結合させる際の光結合係数を高くすることができる。

【0019】

第2クラッド層104は、第1クラッド層103よりも低い屈折率を有する窒化物半導体で構成される。具体的な構成材料としては、n型 $A_1x_{c2}Ga_{1-x_{c2}}N$ が挙げられる。ここで x_{c2} は、 $x_{neff} < x_{c1} < x_{c2}$ と選ばれる。より望ましくは、 $0.06 \leq x_{c2} \leq 0.3$ の範囲で設定される。 x_{c2} が 0.06 よりも小さくなると（ A_1 の混晶比が減少すると）、活性層107への光閉じ込め量が減少し、閾値電流の上昇をまねき望ましくない。一方、 x_{c2} が 0.3 よりも大きくなると、第2クラッド層104にクラックが生じ、信頼性の高い素子を実現できないため望ましくない。

【0020】

第3クラッド層105は、レーザ導波路の等価屈折率 n_{eff} よりも低い屈折率を有し、かつ、第2クラッド層104よりも屈折率が高い窒化物半導体で構成することにより、第3クラッド層105がない場合と比較して等価屈折率 n_{eff} を高くする効果を発揮する。具体的な構成材料としては、n型 $A_1x_{c3}Ga_{1-x_{c3}}N$ が挙げられ、 A_1 の混晶比は $x_{neff} < x_{c3} < x_{c2}$ となるように選択される。また、 $x_{c1} \leq 0.07$ とすることにより、結晶に生ずる微小なクラックを効果的に抑

制できるため望ましい。

【0021】

これらの第1、第2、第3の3層のクラッド層103、104、105の厚さを、この順に d_{c1} 、 d_{c2} 、 d_{c3} とすると、 $d_{c2} < d_{c1}$ 、 $d_{c3} < d_{c1}$ とすることで、基板101への放射モードをより効果的に防止し、かつ、3層の中で一番A1の混晶比が高い第2クラッド層の厚さ d_{c2} を薄く設定でき、クラックの発生を抑制できる点で望ましい。 d_{c2} の望ましい範囲は $0.05 \mu m \leq d_{c2} \leq 0.35 \mu m$ である。 $0.05 \mu m > d_{c2}$ の場合には、第2クラッド層104としての光閉じ込め効果がなくなり、閾値電流が上昇するため好ましくない。一方、 $d_{c2} > 0.35 \mu m$ の場合には、積層面に垂直方向のFFPの半値全角が 26° より大きくなり、応用時のレンズとの光結合効率が低下する問題が生じる。さらに、 $d_{c2} > 0.35 \mu m$ の場合には、3層構造としたクラッド層において結晶の割れが生じ易くなり、素子の作製歩留まりが低下する点で問題がある。

【0022】

3層クラッド層103、104、105のトータル厚さ $d_{c1} + d_{c2} + d_{c3}$ は $4.5 \mu m$ 以下とすることが望ましい。 $4.5 \mu m$ を越える場合は、結晶成長終了時点でのクラックは抑制されたとしても、その後のp型化活性化率向上工程や電極アロイ工程における熱処理により結晶の割れが発生するため、望ましくない。一方、トータル厚さの下限は $1.4 \mu m$ とすべきである。トータル厚さが $1.4 \mu m$ よりも薄くなった場合には、基板101への放射モードを抑制する効果が小さくなり、放射光によるレーザ損失が発生するため問題となる。

【0023】

また、これらの第1、第2、第3の3層のクラッド層103、104、105の導電型は限定されないが、これらの少なくとも一部の層における導電型がp型または絶縁性である場合には、n型ガイド層106または、該p型または絶縁性である層よりも活性層107に近い側に存在するn型層の表面にn型電極を形成すべきである。特に、少なくともいずれかのクラッド層をアンドープ層とした場合には、自由キャリア吸収に起因するレーザ吸収損失を低減できる点で望ましい。一方、これらの3層103、104、105の全てをn型半導体で形成するこ

とにより、基板101にn型電極を形成することが可能となり、n型電極の接触抵抗低減や、n型電極形成プロセス簡略化の観点から望ましい。また、これら3層の導電型をn型とすると共に、基板101を導電性とすることにより、n型電極を基板101裏面に形成することができ、チップサイズの縮小、実装工程の簡略化の点において、最も望ましい。

【0024】

これら3層から構成されるクラッド層は、必ずしも互いに接触している必要はなく、第1クラッド層103と第2クラッド層104の間、または第2クラッド層104と第3クラッド層105との間に、InGaNやGaN、InGaAlNからなる薄層を挿入してもよい。ただし、このような層を追加する場合は、追加する層の層厚（すなわち第1クラッド層と第2クラッド層の離間距離または第2クラッド層と第3クラッド層の離間距離）を導波路内部におけるレーザ光の波長の1/4以下とすることが望ましく、窒化物半導体により青紫色レーザの場合には、0.04μm以下とすることが望ましい。

【0025】

さらに、第1導電型第1クラッド層103と窒化物半導体基板101または下地層102との間には、InGaNからなる歪み緩和層（図示せず）を追加しても良い。この歪み緩和層の厚さは、0.02μm以上0.06μm以下の範囲で選択することができる。0.02μmより薄いと歪み緩和効果が発現せず、0.06μmより厚い場合には歪み緩和層中にピットが発生しやすくなり、この上に結晶成長させる第1クラッド層103より上の積層体の結晶性が悪化するため好ましくない。また、歪み緩和層のIn混晶比は、0.03以上0.12以下が望ましい。In混晶比が0.03より小さい場合には歪み緩和効果が発現せず、0.12より大きい場合には歪み緩和層中にピットが発生しやすくなり、この上に結晶成長させる第1クラッド層103より上の積層体の結晶性が悪化するため好ましくない。この歪み緩和層は、その上に積層する第1～第3クラッド層における $d_{c1} \times x_{c1} + d_{c2} \times x_{c2} + d_{c3} \times x_{c3}$ が0.15μmを越える場合に顕著な歪み緩和効果を發揮するため、導入することが望ましい。

【0026】

また、第1クラッド層、第2クラッド層、第3クラッド層の少なくともいずれかは、多層構造から構成されても良い。多層構造の具体例としては、 $0.1\mu m$ 厚さで平均Al組成比0.1のAlGaN層の代わりに、20nm厚さのAl_{0.2}Ga_{0.8}Nと20nm厚さのGaNを交互に25回繰り返した多層構造を採用することが挙げられる。多層構造を構成する各層のAl混晶比や膜厚は適宜選択できるが、各層の膜厚をd_i、Al混晶比をx_iとした時に平均組成比Σ(d_i · x_i) / Σ(d_i) が、上述した各層の条件を満たすように形成されることが肝要である。

【0027】

第1導電型ガイド層106は、屈折率がn_{eff}より大きい窒化物半導体で構成される。具体的には、n型GaNまたはn型InGaNが挙げられる。ガイド層106の厚さは0.03μm以上0.2μm以下が望ましい。0.03μmよりも薄い場合、0.2μmより厚い場合のいずれの場合にも、活性層107への光閉じ込めが小さくなり閾値電流の上昇を招くため望ましくない。また、第1導電型ガイド層106としてInGaN材料を適用する場合には、Inの混晶比を0.01以上0.1以下の範囲で選択することが望ましい。Inの混晶比が0.1を越える場合には、活性層107への電子の注入効率が低下し、閾値電流が上昇するため望ましくない。

【0028】

活性層107は、InGaNからなる単一量子井戸構造、またはInGaNからなる量子井戸層とGaN、InGaN、AlGaNのいずれかからなる障壁層を2対以上含む多重量子井戸構造からなる。特に障壁層をInGaNとした多重量子井戸層とすることにより、活性層107への光閉じ込め量を大きくでき、閾値電流低減の観点から望ましい。また、多重量子井戸活性層107においては、量子井戸数を2～5の間より選ぶことにより、閾値電流を低減できるため望ましい。また、多重量子井戸活性層107のトータル厚さは0.04以上0.08以下とすることにより閾値電流を低減することができる。さらに望ましくは、0.04以上0.06以下とすることにより、垂直方向のレーザ放射角度を24°以下に小さくすることが可能となり望ましい。また、活性層107には不純物

としてSiやSn、Se、Teなどの不純物を添加しても良く、特にSiを $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ~ $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で添加することにより、レーザの微分ゲインを最大にすることができ、低閾値電流を実現できることより望ましい。

【0029】

活性層107より、基板101と反対側に位置する層構造としては、活性層107への光閉じ込めを実現できる導波路構造と、活性層107にキャリアを閉じ込めるヘテロ構造を同時に実現できる窒化物半導体による積層構造であればいかなる組み合わせでも適用可能である。より具体的には、活性層107上に、p型保護層108、p型ガイド層109、p型クラッド層110、p型コンタクト層111から構成され、少なくともp型クラッド層110とp型コンタクト層111はリッジストライプ構造が形成されている。

【0030】

p型保護層108としては、活性層107よりもコンダクションバンド側の電子障壁高さが0.3eV以上である窒化物半導体を適用する。具体的な材料としては、Mgを添加したp型AlGaNが挙げられる。このp型AlGaNのAl混晶比は0.1以上0.45以下であることが望ましい。Alの混晶比が0.1より小さくなると、電子に対する障壁高さが低くなり、電子が効果的に活性層107に閉じ込められずp型層にオーバーフローするために閾値電流が上昇し好ましくない。一方、Al混晶比が0.45を越える場合も、添加したMgが活性化しにくくなり、電子に対する障壁高さが実効的に下がってしまうため、望ましくない。より望ましくは、0.3以上0.45以下を選択することにより、高温(70°C以上)での信頼性を確保することが可能となる点で最も望ましい。p型保護層108の厚さは5nm以上30nm以下が望ましい。5nmより薄くなると、層の均一性が失われ、一部においては、活性層107から電子がp型層にオーバーフローする原因となるため好ましくない。一方、30nmより厚くなると、活性層107に与える結晶歪みの影響が多くなり、閾値電流が上昇するために望ましくない。

【0031】

第2導電型ガイド層109は、 n_{eff} よりも屈折率が大きい窒化物半導体材料

で構成される。具体的には、Mgが添加されたp型GaNまたはInGaN、またはInGaAlNが挙げられる。p型の第2導電型ガイド層109の厚さは0.03μm以上0.2μm以下が望ましい。0.03μmよりも薄い場合、0.2μmより厚い場合のいずれの場合にも、活性層107への光閉じ込めが小さくなり閾値電流の上昇を招くため望ましくない。また、第2導電型ガイド層109としてInGaNやInGaAlN材料を適用する場合には、Inの混晶比を0.01以上0.1以下の範囲で選択することが望ましい。Inの混晶比が0.1を越える場合には、活性層107への電子の注入効率が低下し、閾値電流が上昇するため望ましくない。

【0032】

第2導電型クラッド層110は、 n_{eff} よりも屈折率が小さい窒化物半導体材料により構成される。具体的には、Mgを添加したp型AlGaN層が挙げられる。Alの混晶比は0.06以上0.2以下が望ましく、0.06より小さい場合は、活性層107への光閉じ込めが低下し、閾値電流が上昇するために望ましくない、0.2を越える場合には、Mg添加によるp型導電率が低下し、素子抵抗が上昇するため、素子の寿命が短くなり好ましくない。p型クラッド層110の厚さは、0.25μm以上1.5μm以下が好ましい。0.25μmより薄い場合は、大部分のレーザ光がp型の第2導電型電極112に吸収され、導波路損失が大きくなり望ましくない。また、1.5μmより大きい場合には、素子抵抗が高くなり寿命が短くなるために望ましくない。より、望ましくは、0.35μm以上0.7μm以下とすることにより、クラックの発生を抑制し、かつ、リッジを1~2μmと細く形成することが可能となる点で望ましい。

【0033】

第2導電型コンタクト層111は、第2導電型電極112とオーム接觸を形成しうる窒化物半導体材料で構成される。具体的にはMgを添加したp型GaN層が挙げられる。また、Inを0.01~0.15の混晶比の範囲で添加した材料も適用可能であり、この場合は、GaNを採用した場合に比べてホール濃度を増加させることができが可能となり、第2導電型電極112における接觸抵抗を低減できる点で望ましい。第2導電型コンタクト層111の厚さは0.06μm以上

0.2 μm以下が望ましい。0.06 μmより薄くになると、コンタクト層として第2導電型電極112と低抵抗な接触を形成することが不可能となり望ましくない。また、第2導電型コンタクト層111自体の屈折率が n_{eff} よりも大きいため、層厚が0.2 μmより厚くなると、活性層107をコアとする導波路とは別に、第2導電型コンタクト層111をコアとする導波路が形成され、この導波路に、レーザ光が結合し、レーザ導波損失を発生させるために好ましくない。

【0034】

また、窒化物半導体基板101上に積層構造を形成する前に、窒化物半導体基板101の形成面をエッチングしてもよい。窒化物半導体基板の作製の方法などによっては、基板の表面がでこぼこしている場合があるので、一旦表面をエッチングして平坦にしてから、下地層102や第1クラッド層103を形成することにより、結晶性が改善されるための望ましい。

【0035】

本発明において、窒化物半導体の成長は、MOVPE（有機金属気相成長法）MOCVD（有機金属化学気相成長法）、HVP（ハライド気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。

【0036】

以下に本発明の一実施の形態である実施例を示す。しかし本発明はこれに限定されない。

（実施例1）実施例1として、図1に示される本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を製造する工程について説明する。

【0037】

n型GaN基板101上に、1125°Cでキャリアガスに水素、原料ガスにTMG（トリメチルガリウム）、アンモニアガス、シランガスを用いn型GaNよりなるn型下地層102を3 μmの膜厚で成長させる。次に、同様の温度で、原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）、TMG及びアンモニアガスを用い、不純物ガスにシランガス(SiH_4)を用い、Siを $3 \times 10^{18} cm^{-3}$ ドープした $A_{0.05}G_{0.95}N$ よりなるn型第1クラッド層103を1.8 μmの膜厚

で成長させる。

【0038】

次に、n型第1クラッド層103と同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアガスを用い、不純物ガスにシランガス(SiH_4)を用い、 Si を $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるn型第2クラッド層104を $0.2 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。次に、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアガスと、不純物ガスにシランガス(SiH_4)を用い、 Si を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープした $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなるn型第3クラッド層105を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0039】

次に、同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMG及びアンモニアと、不純物ガスにシランガス(SiH_4)を用い、 Si を $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープした GaN よりなるn型ガイド層106を $0.08 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0040】

次に、温度を 760°C にして、キャリアガスに窒素またはアルゴン、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、 Si を $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープした GaN よりなる障壁層を 12 nm の膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}$ よりなる井戸層を 4 nm の膜厚で成長させる。この操作を3回繰り返し、最後に障壁層を積層した総膜厚 60 nm の多重量子井戸構造(MQW)の活性層107を成長させる。

【0041】

次に、同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして CP_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、 Mg を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 添加した $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ よりなるp型保護層108を 20 nm の膜厚で成長させる。

【0042】

次に、温度を 1035°C にして、キャリアガスに窒素、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、 Mg を $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 添加した GaN よりなるp型ガイド

層109を0.08μmの膜厚で成長させる。

【0043】

次に、同様の温度でp型クラッド層110を形成する。まず、キャリアガスに窒素、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}NよりなるA層を2.5nmの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたGaNよりなるB層を2.5nmの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ100回繰り返してA層とB層とを積層し、総膜厚0.5μmの多層膜（超格子構造）よりなるp型クラッド層110を成長させる。

【0044】

次に、同様の温度で、キャリアガスに窒素、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたGaNよりなるp型コンタクト層111を60nmの膜厚で成長させる。

【0045】

成長終了後、温度を室温付近まで下降させ、ウエハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層111の表面にパラジウム／モリブデン／金からなるp型電極112を形成する。次に、p型電極112上にレジストよりなるマスクを形成して、RIE（反応性イオンエッティング）を用いArガスによりp型電極112、およびArとCl₂とSiCl₄の混合ガスによりp型コンタクト層111とp型クラッド層110の途中まで、またはp型ガイド層109の途中までエッティングし、底辺におけるストライプ幅が1.6μmで、p型電極112を含む上辺におけるストライプ幅が1.3μmのリッジストライプ114を形成する。

【0046】

さらに、リッジストライプ114上辺にあるレジストを残したまま、エッティング面およびリッジストライプ構造114上に、絶縁膜115（ここでは、Zr酸化物（主としてZrO₂））を膜厚0.5μmで形成した後、レジストを除去することによりリッジストライプ114の上辺を露出させる。

【0047】

次に、n型GaN基板101裏面を厚みが110nmになるまで研削および研

磨し、n型電極113を基板裏面に形成し、530°Cで約2分間の電極合金化処理を実施する。また、リッジストライプ114上辺のp型電極112上から、絶縁膜115表面の少なくとも一部にかけて、モリブデンと金からなるp型パッド電極116を形成した。最後に、共振器端面として破線スクライプ法により積層体の劈開面を形成した後、チップごとに分割し、半導体レーザ素子を作製した。

【0048】

共振器長は180～850μmとすることが望ましい。得られたレーザ素子をヒートシンクにダイボンディングし、p型パッド電極116をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値2.5kA cm⁻²、しきい値電圧4.3Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、70°Cで3万時間以上の寿命を示す素子が83%の歩留まりで得られた。

【0049】

当該実施例素子のレーザ出力光の積層面に垂直な方向のFFPを図2に示す。従来の素子で観測された基板側への放射モードは大幅に低減され、光ディスク装置などへの応用においても問題がない程度で抑制された。さらに、結晶のクラック発生も観測されなかった。また、垂直方向FFPの半値全幅角は22.5°と小さくでき、積層面に平行な方向のFFPの半値全幅角10.5°との比を2.1と小さくでき、レンズで集光する上での光の利用効率の向上も図れた。

(実施例2) 図3に本願の第2の実施例を示す。図3に示すように、実施例1において、n型下地層102とn型第1クラッド層103の間に、温度を800°Cにして、キャリアガスに窒素95%と水素5%の混合ガス、原料ガスにTMG、TMI(トリメチルインジウム)及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープした厚さ0.03μmのn型In_{0.09}Ga_{0.91}N歪み緩和層120を入れても良い。n型歪み緩和層120を追加する以外は実施例1と同様の方法により半導体レーザ素子を作製した。得られた素子は、実施例1と同様の特性を示す素子の作製歩留まりが94%に上昇した。

(実施例3) 実施例1において、誘電体からなる絶縁膜115の部分を、高抵抗またはn型のAlGaNとした他は、実施例1と同様にして半導体レーザ素子を成長させた。得られた素子は、実施例1とほぼ同様に良好な結果が得られた。こ

のAlGaN層の作製方法としては、MOVPE法、MOCVD法、HVPE法、MBE法などの結晶成長方法を適用することができる。また、スパッタ法により形成することにより、形成時の温度を700℃以下と、結晶成長と比較して低温に設定できるため、活性層107の劣化を防止できる点で望ましい。また、このAlGaN層のAl混晶比は、p型クラッド層110のAl混晶比以上することが、高出力まで安定した横モードを実現する上で望ましい。さらに、当該層のAl混晶比をp型クラッド層110のAl混晶比と同一とし、かつリジットライプ114を形成するためのエッチングをp型ガイド層に達するまで実施することにより、高出力まで安定した横モードを実現できると共に、当該AlGaN層の割れに伴うリーク電流を効果的に防止できつため、最も望ましい。

(実施例4) 実施例1において、第1クラッド層103を $x_{c1} = 0.038$ 、 $d_{c1} = 3.3 \mu m$ とした以外は、同様にして半導体レーザ素子を作製した。図4に本実施例4の半導体レーザ素子のFFPを示す。基板側への放射モードはほぼ完全に防止でき、かつ、FFPの半値全角も 2.2° と小さく、応用上最も望ましい形態の半導体レーザ素子が実現できた。

(実施例5) 実施例1において、第2クラッド層104を $x_{c2} = 0.07$ 、 $d_{c1} = 0.35 \mu m$ とした以外は、同様にして半導体レーザ素子を作製した。図5に実施例5の半導体レーザ素子のFFPを示す。基板側への放射モードは抑制され、かつ、FFPの半値全角も 2.3° と小さく、良好な素子が実現できている。

(実施例6) 実施例1において、第3クラッド層105を $x_{c3} = 0.05$ 、 $d_{c1} = 0.05 \mu m$ とした以外は、同様にして半導体レーザ素子を作製した。この場合も、実施例5と同様の効果が得られた。

(実施例7) 実施例1において、量子井戸活性層107を以下の通りとした以外は実施例1と同様にして半導体レーザ素子を作製した。本実施例での活性層は、実施例1のn型ガイド層106形成後、温度を800℃にして、キャリアガスに窒素、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を8nmの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープのIn_{0.11}Ga_{0.89}Nよりなる井戸層を3nmの膜厚で成長させる。この操作を5

回繰り返し、最後に障壁層を積層した総膜厚63nmの多重量子井戸構造(MQW)の活性層107を成長させる。本実施例においても実施例1と同様の効果が得られた。

(実施例8) 実施例8として、図6に示される本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を製造する工程について説明する。

【0050】

n型GaAs基板601上に、720°Cでキャリアガスに水素、原料ガスにTMG(トリメチルガリウム)、アルシン、シランガスを用いn型GaAsよりなるn型下地層602を0.5μmの膜厚で成長させる。次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアルシンガスを用い、不純物ガスにシランガス(SiH₄)を用い、Siを $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたAl_{0.04}Ga_{0.96}Asよりなるn型第1クラッド層603を3.5μmの膜厚で成長させる。

【0051】

次に、n型第1クラッド層603と同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアルシンガスを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.5}Ga_{0.8}Asよりなるn型第2クラッド層604を0.15μmの膜厚で成長させる。次に、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアルシンガスと、不純物ガスにシランガス(SiH₄)を用い、Siを $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたAl_{0.05}Ga_{0.95}Asよりなるn型第3クラッド層605を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0052】

次に、同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMG及びアルシンと、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたGaAsよりなるn型ガイド層606を0.12μmの膜厚で成長させる。

【0053】

次に、温度を680°Cにして、キャリアガスに水素、原料ガスにTMI、TMG及びアルシンを用い、アンドープのGaAsよりなる障壁層を20nmの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープのIn_{0.09}Ga_{0.91}Asよりなる井戸層を11nmの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後

に障壁層を積層した総膜厚82nmの多重量子井戸構造(MQW)の活性層607を成長させる。

【0054】

次に、同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアルシンを用い、不純物ガスとしてDEZn(ジエチルジンク)を用い、Znを $1.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 添加したAl_{0.2}Ga_{0.8}Asよりなるp型保護層608を20nmの膜厚で成長させる。

【0055】

次に、温度を720°Cにし、キャリアガスに水素、原料ガスにTMG及びアルシンを用い、Znを $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 添加したGaNよりなるp型ガイド層609を0.12μmの膜厚で成長させる。次に、同様の温度で、キャリアガスに水素、原料ガスにTMA、TMG及びアルシンを用い、Znを $1.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 添加した膜厚1.5μmのAl_{0.2}Ga_{0.8}As p型クラッド層610を成長させる。

【0056】

次に、同様の温度で、キャリアガスに窒素、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてDEZnを用い、Znを $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたGaAsよりなるp型コンタクト層611を1.0μmの膜厚で成長させる。

【0057】

成長終了後、温度を室温付近まで下降させ、ウェハを反応容器から取り出し、ストライプ状のシリコン酸化膜をマスクとしてRIE(反応性イオンエッティング)を用いCl₂ガスによりp型コンタクト層611とp型クラッド層610の途中まで、またはp型ガイド層609の途中までエッティングし、底辺におけるストライプ幅が4μmで、p型電極612を含む上辺におけるストライプ幅が3μmのリッジストライプ614を形成する。

【0058】

次に、シリコン酸化膜マスクを残したままウェハーを再び結晶成長装置にセットし、温度を720°Cとした後、キャリアガスに水素、原料ガスにTMG(トリメチルガリウム)、アルシン、シランガスを用い層厚1.0μmのn型GaAs

電流狭窄層 615 を選択成長する。

【0059】

温度を室温付近まで冷却した後、選択成長マスクとして用いたシリコン酸化膜を除去し、現れたリッジストライプ 614 の上辺に位置する p 側コンタクト層 611 の表面、および n 型電流狭窄層 615 の表面にかけて、亜鉛／金からなる p 型電極 612 を形成する。

【0060】

次に、n 型 GaAs 基板 601 裏面を厚みが 90 nm になるまで研削および研磨し、n 型電極 613 を基板裏面に形成する。この後、真空中で 450°C にて 3 分間電極アロイ化を行う。次に、p 型電極 612 の上に、モリブデンと金からなる p 側パッド電極 616 を形成した。最後に、共振器端面として積層体の劈開形成した後、チップごとに分割し、半導体レーザ素子を作製した。

【0061】

共振器長は 180～850 μm とすることが望ましい。得られたレーザ素子をヒートシンクにダイボンディングし、p 型パッド電極 616 をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値 450 A cm⁻²、しきい値電圧 1.7 V で、発振波長 895 nm の連続発振が確認され、85°C で 2 万時間以上の寿命を示す素子が 80% の歩留まりで得られた。

【0062】

当該実施例素子のレーザ出力光の積層面に垂直な方向の FFP を図 7 に示す。従来の素子で観測された基板側への放射モードは完全に抑制された。また、垂直方向 FFP の半值全幅角は 23° と小さくでき、積層面に平行な方向の FFP の半值全幅角 10° との比を 2.3 と小さくでき、レンズで集光する上での光の利用効率の向上も図れた。

【0063】

【発明の効果】

以上のように、本発明を適用することにより、透明基板で、かつ導波路の等価屈折率よりも大きな屈折率を有する材料で構成される半導体レーザ素子において、基板と活性層間に位置するクラッド層の材料と膜厚を規定の屈折率関係とな

るよう選定することにより、基板への放射損失を顕著に低減でき、閾値電流が低く、かつ信頼性に優れた半導体レーザ素子を実現することができる。また、窒化物系半導体レーザにおいては、結晶中に発生するクラックを効果的に抑制し、かつ、歩留まりよく基板への放射損失を抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施例 1 による半導体レーザ素子の断面構造である。

【図 2】

本発明の実施例 1 による半導体レーザ素子の積層面に垂直方向の遠視野像である。

【図 3】

本発明の実施例 2 による半導体レーザ素子の断面構造である。

【図 4】

本発明の実施例 4 による半導体レーザ素子の積層面に垂直方向の遠視野像である。

【図 5】

本発明の実施例 5 による半導体レーザ素子の積層面に垂直方向の遠視野像である。

【図 6】

本発明の実施例 8 による半導体レーザ素子の断面構造である。

【図 7】

本発明の実施例 8 による半導体レーザ素子の積層面に垂直方向の遠視野像である。

【図 8】

従来技術による半導体レーザ素子の断面構造である。

【図 9】

従来技術による半導体レーザ素子の積層面に垂直方向の遠視野像である。

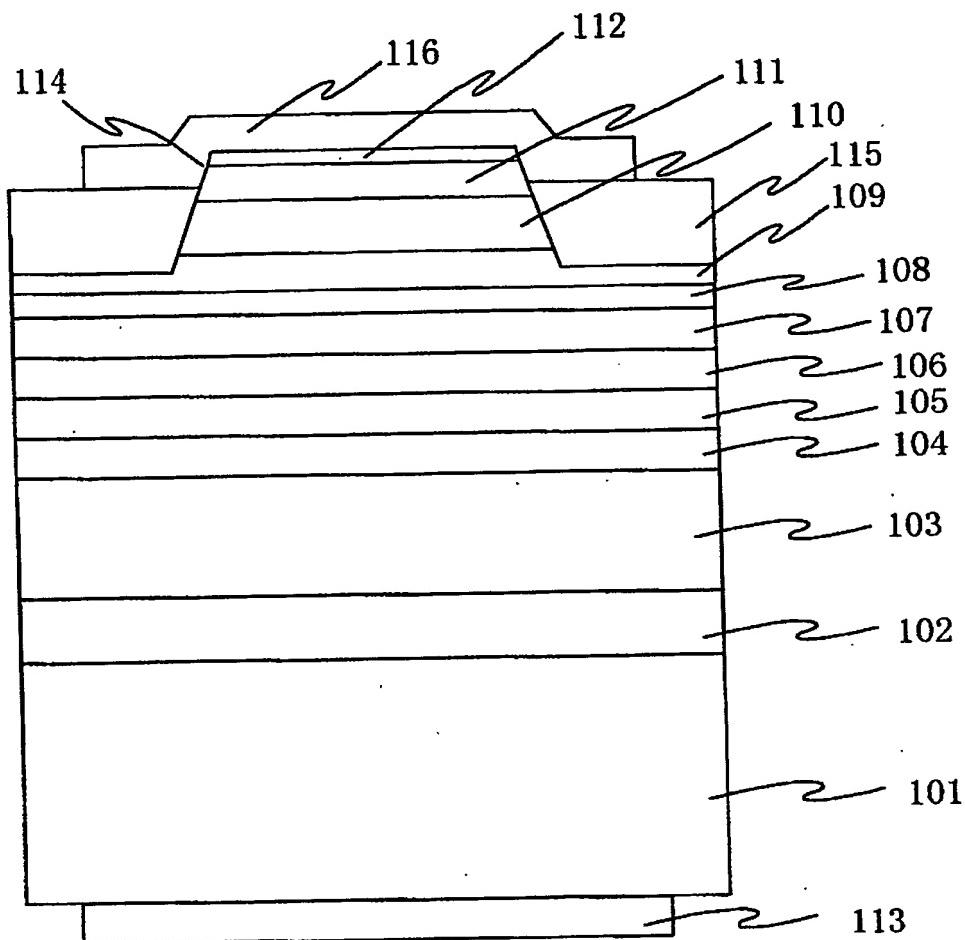
【符号の説明】

101 … 窒化物半導体基板

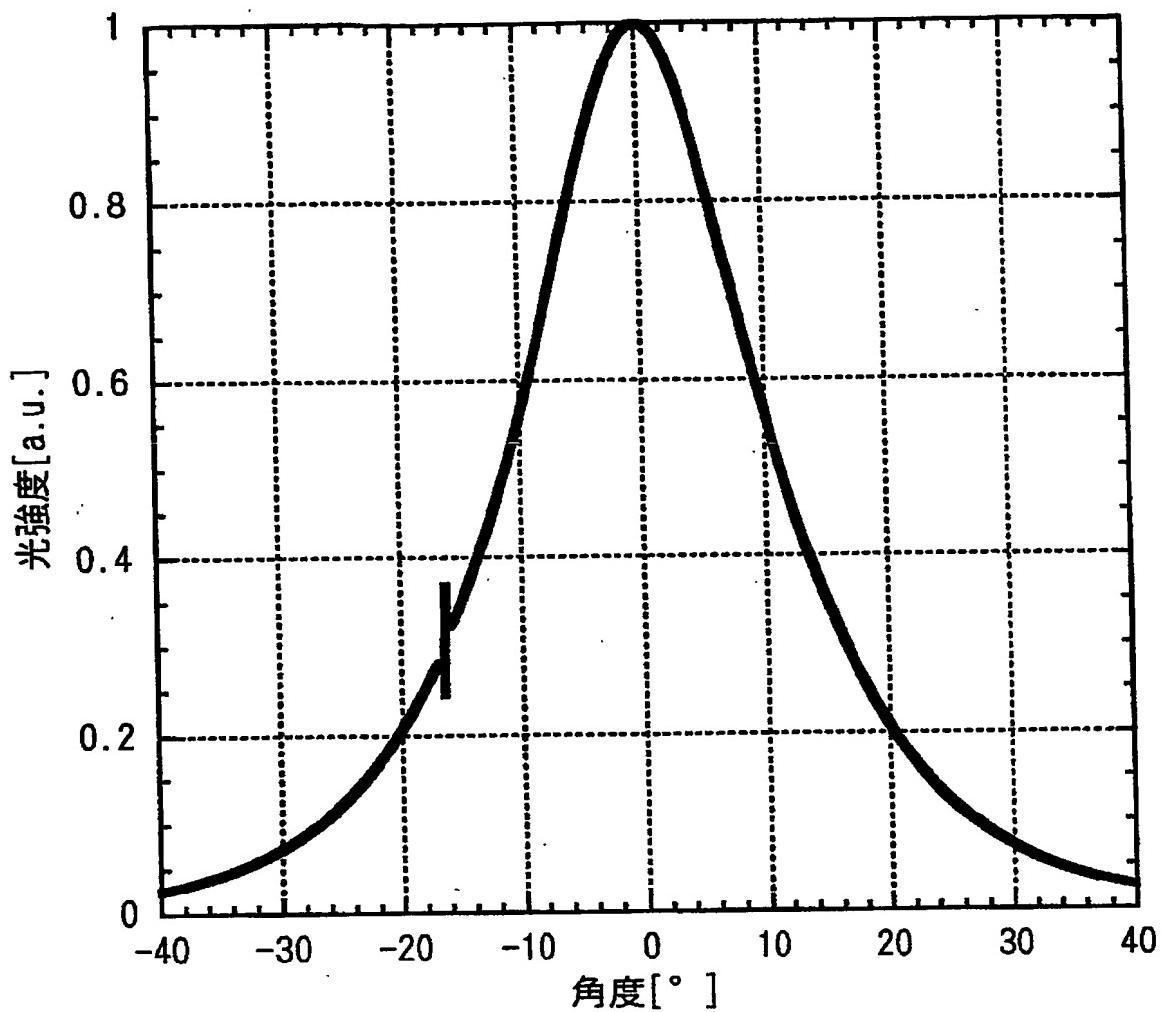
- 102、602…下地層
103、603…第1クラッド層
104、604…第2クラッド層
105、605…第3クラッド層
106、606…n型ガイド層
107、607…活性層
108、608…p型保護層
109、609…第2導電型ガイド層
110、610…第2導電型クラッド層
111、611…第2導電型コンタクト層
112、612…第2導電型電極
113、613…第1導電型電極
114、614…リッジストライプ
115…絶縁膜
116、616…p型パッド電極
601…G a A s 基板
615…n型電流狭窄層

【書類名】 図面

【図1】

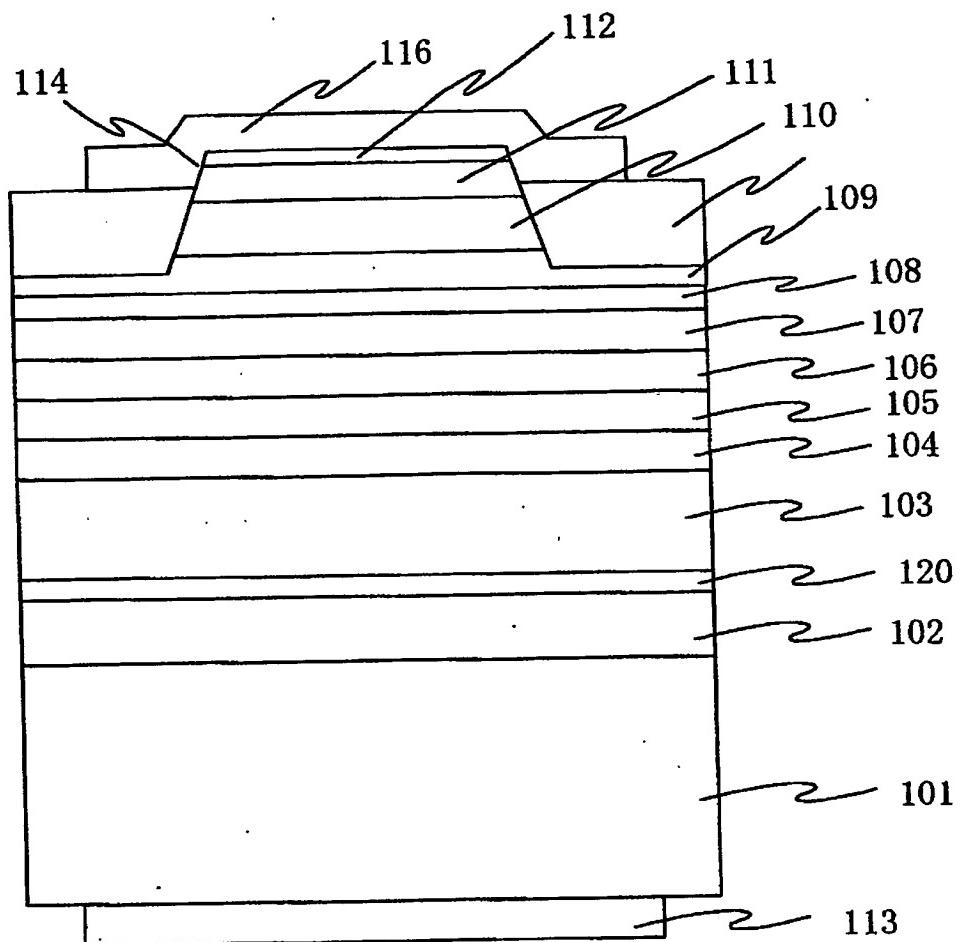


【図2】

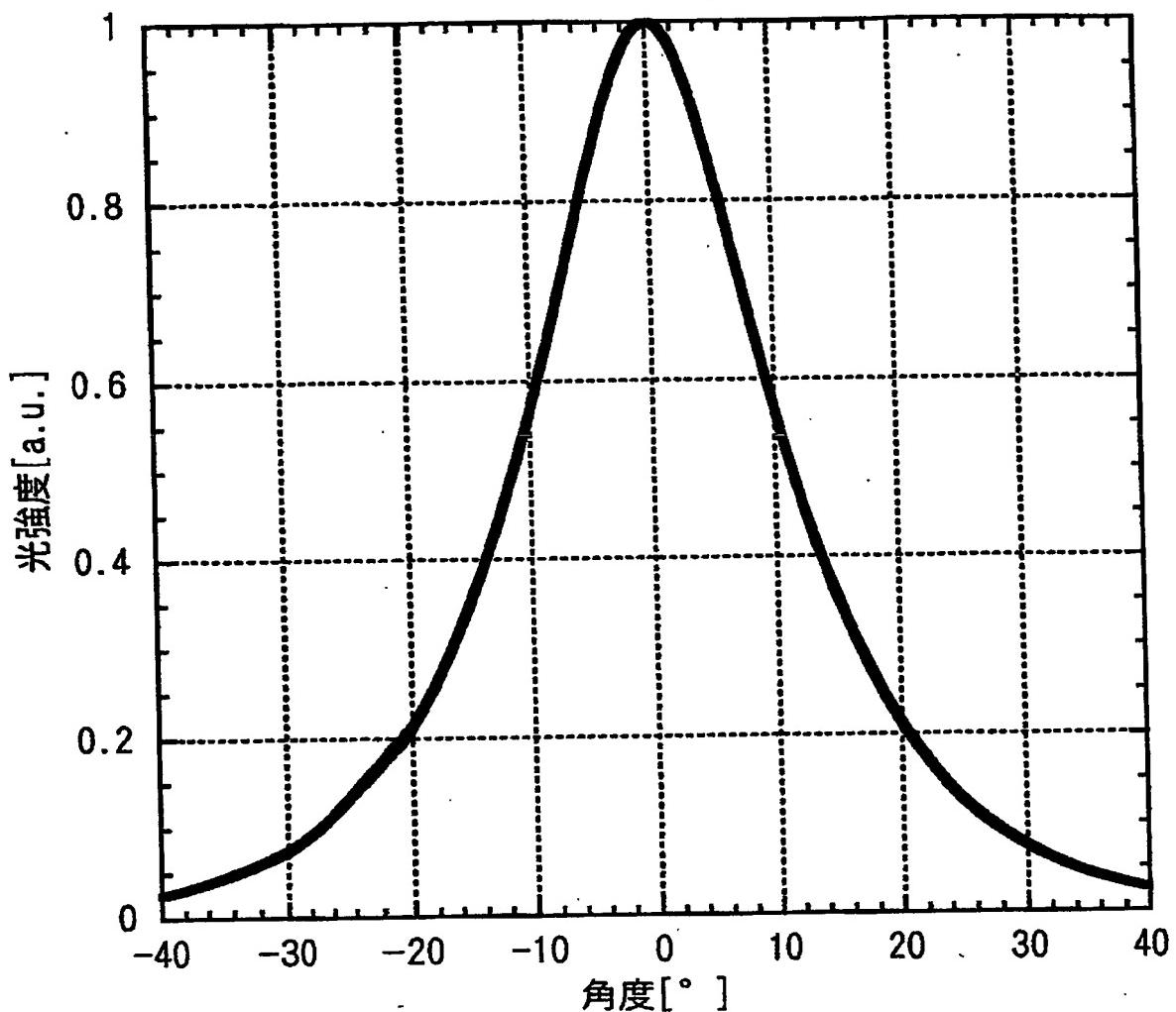


2002-102225

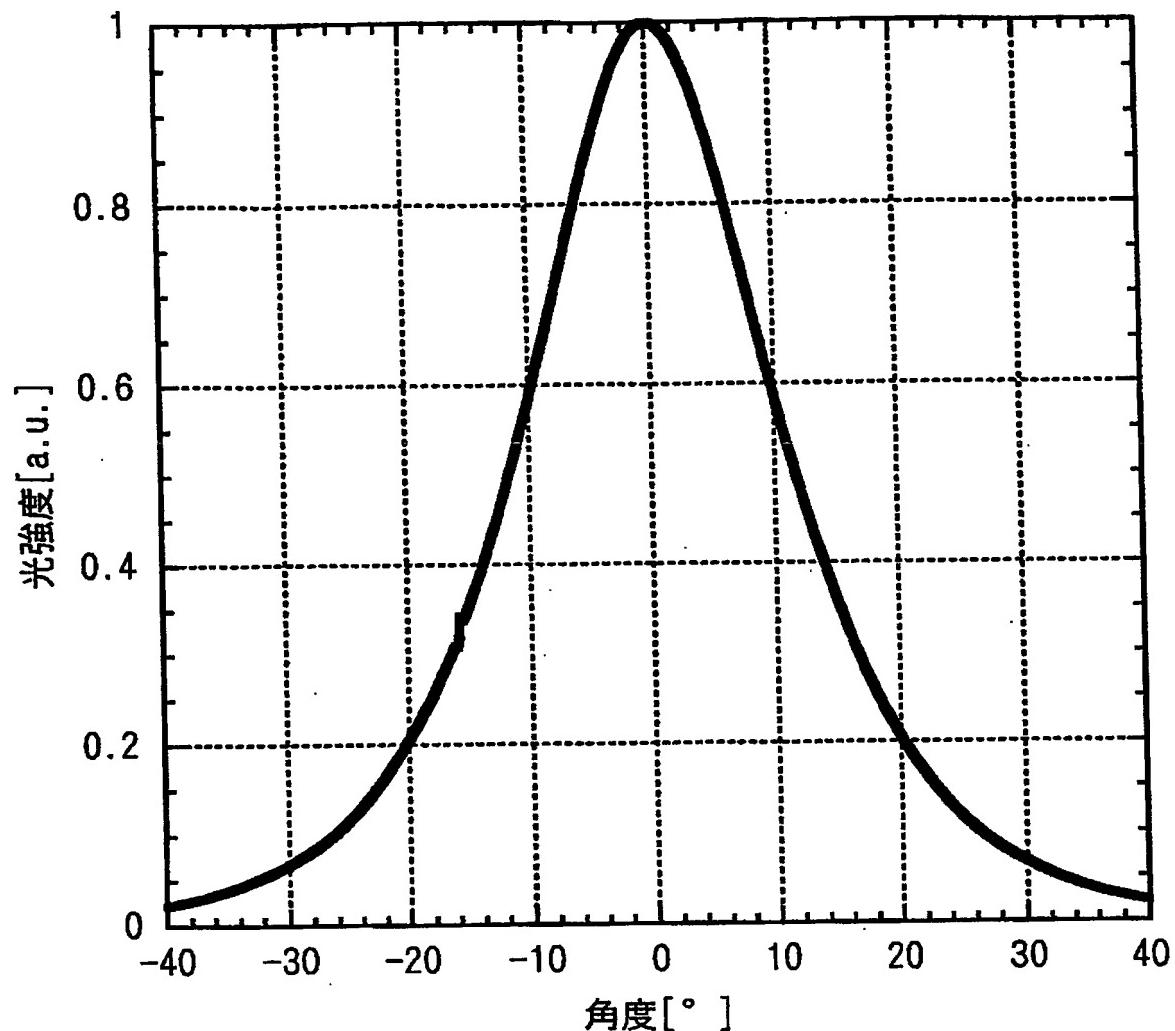
【図3】



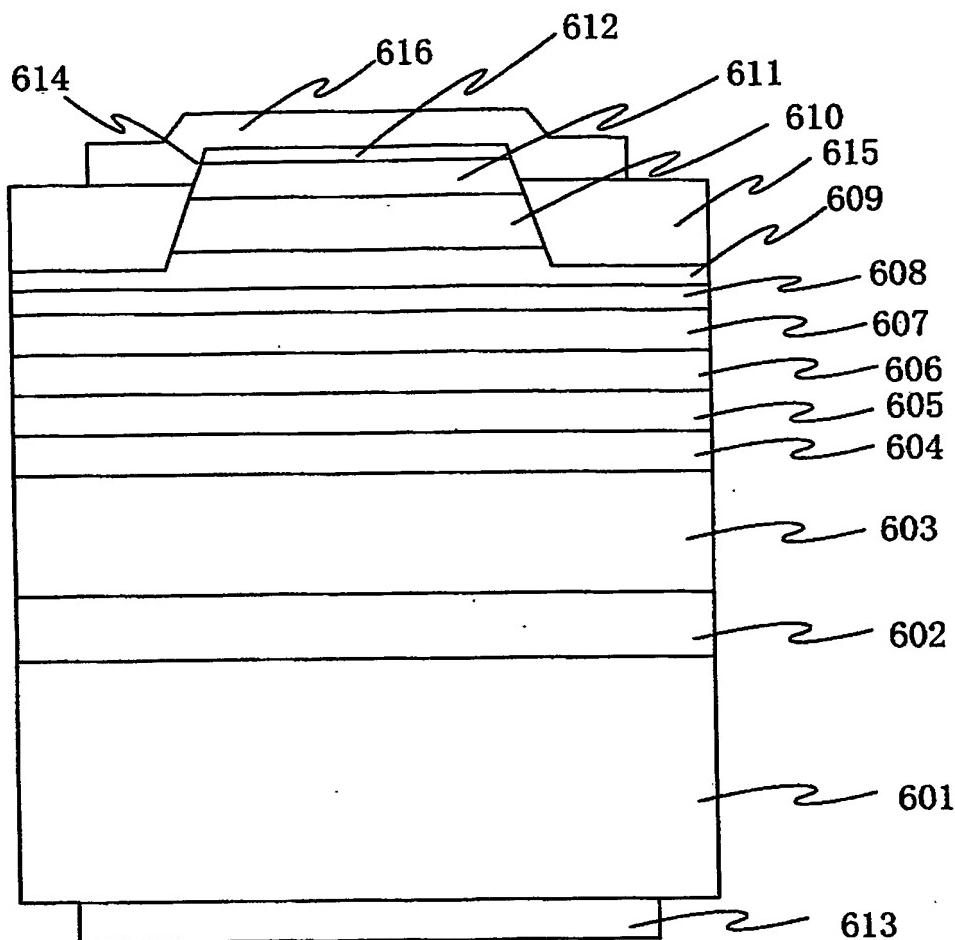
【図4】



【図5】

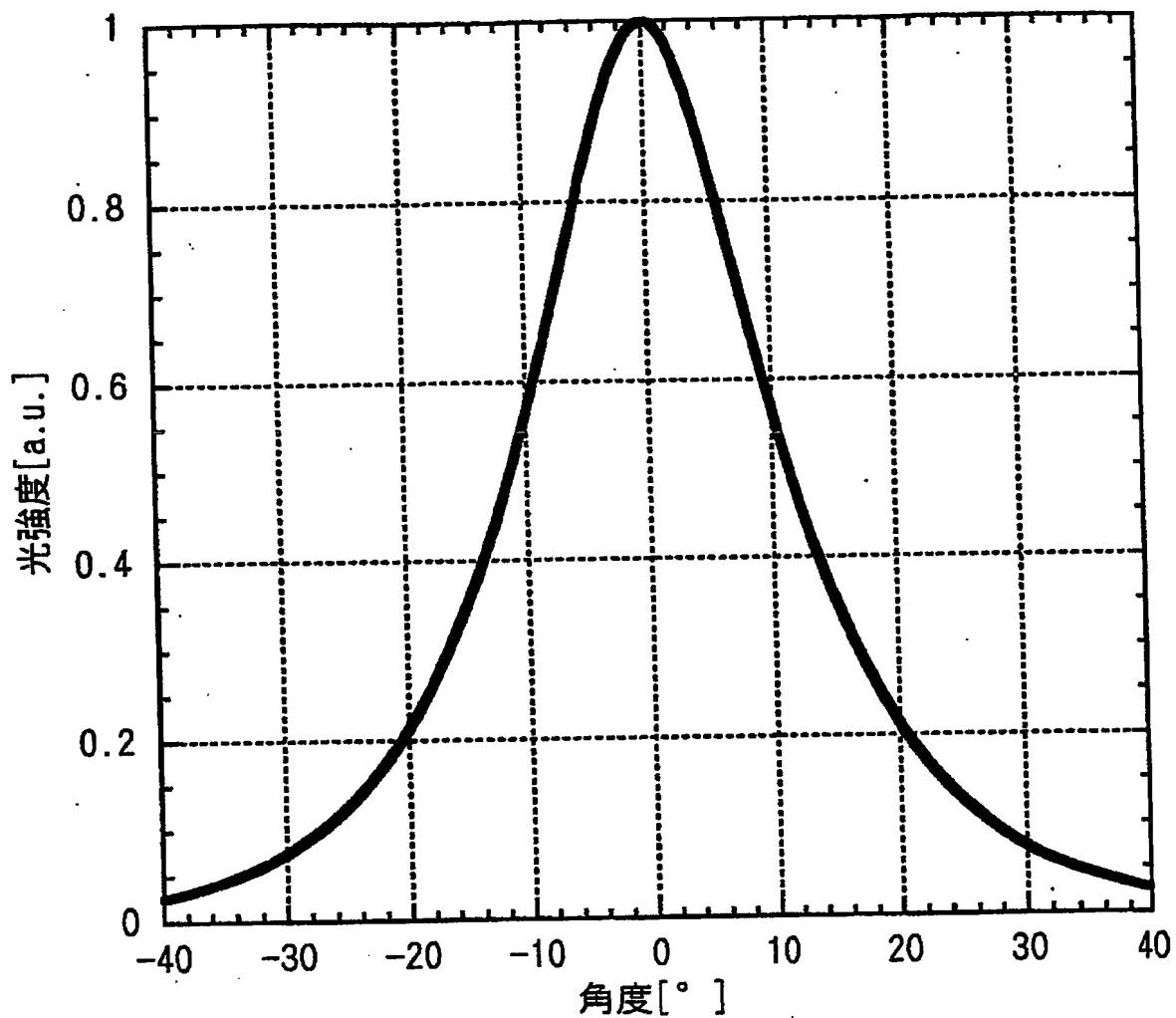


【図6】

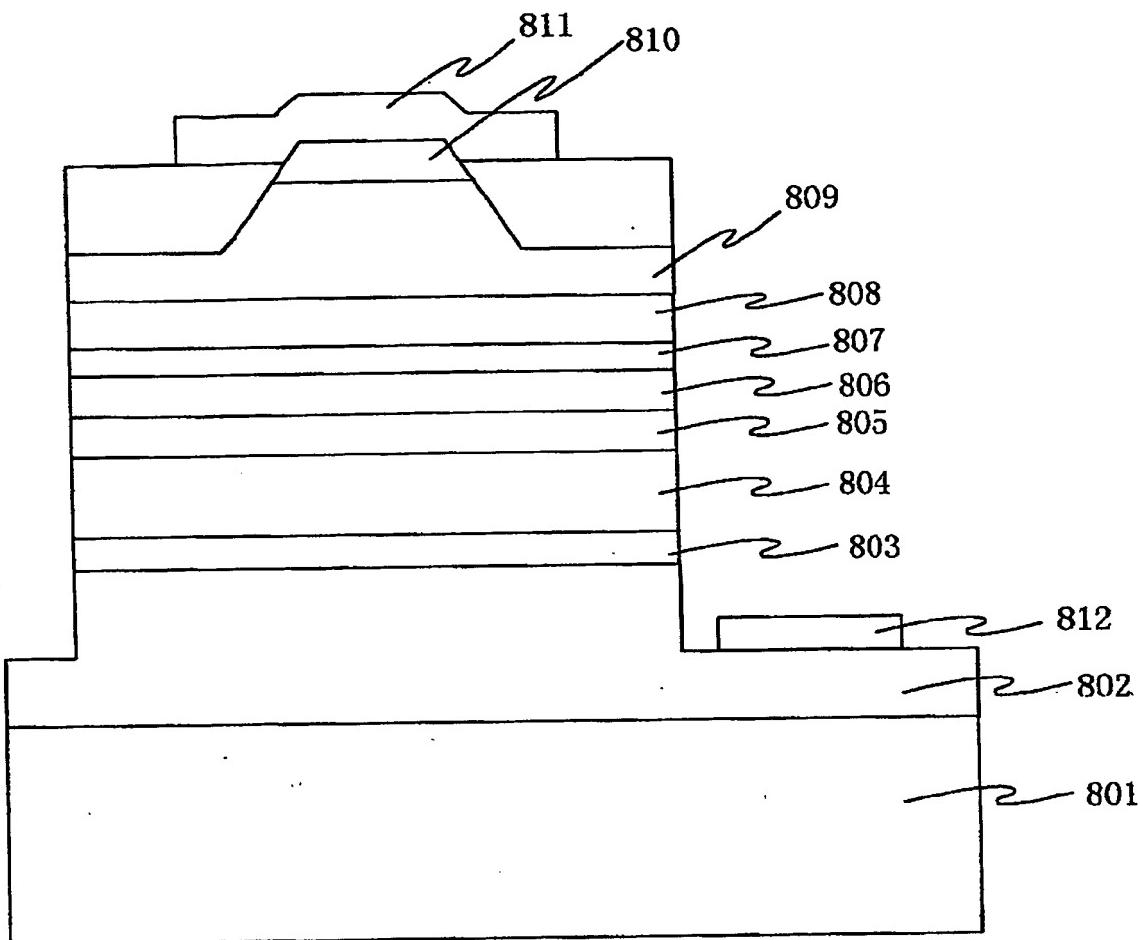


2002-102225

【図7】

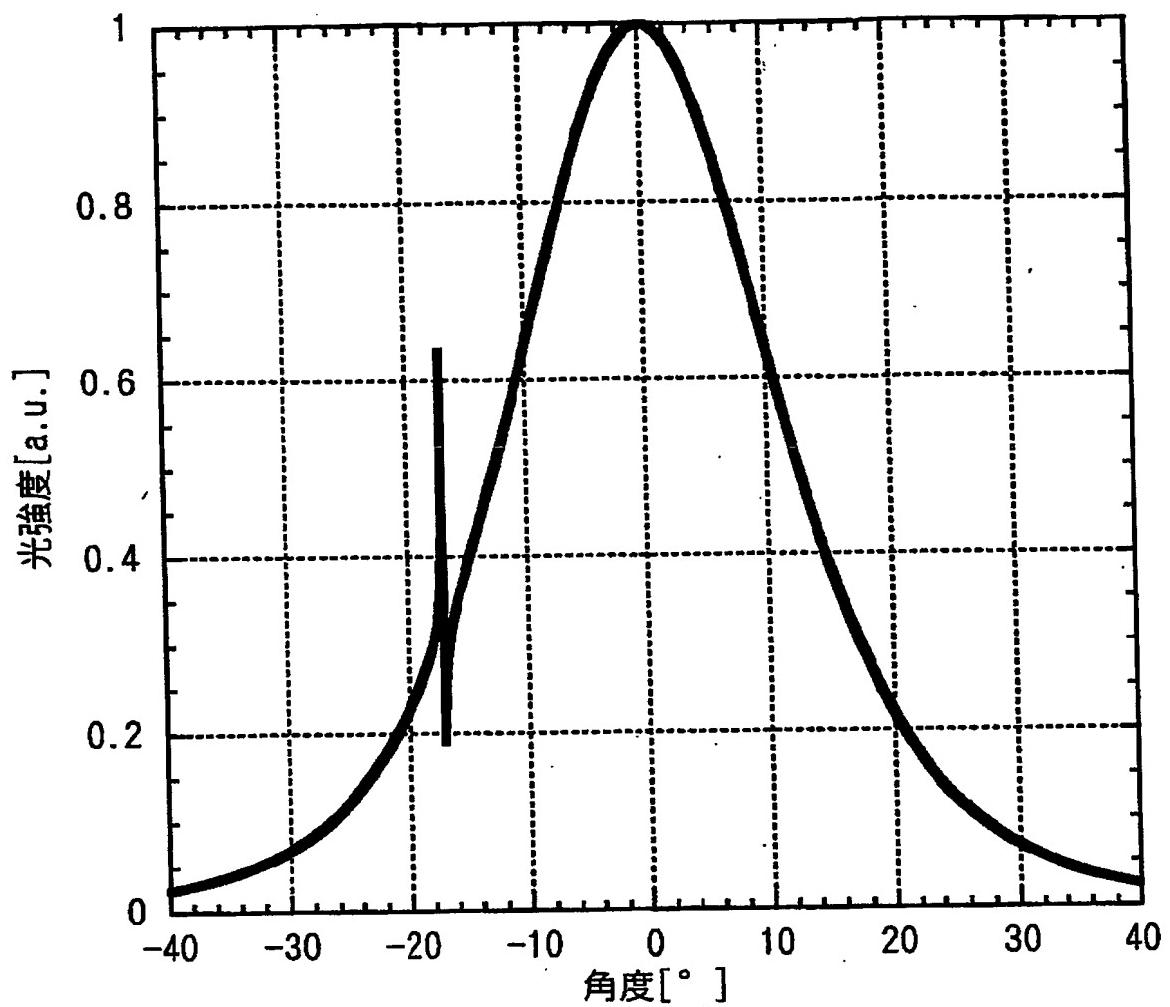


【図8】



2002-102225

【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 透明で、導波路の等価屈折率よりも大きい屈折率を有する基板を用いた半導体レーザの基板への放射損失を抑制する。

【解決手段】 基板と活性層の間に位置するクラッド層を3層構造とし、3層の内の真中のクラッド層の屈折率を一番低くすると共に、3層それぞれの層厚を所定の範囲で選択する。

【選択図】 図1

2002-102225

出願人履歴情報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

氏 名 シャープ株式会社